

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representation of
The original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000353858
PUBLICATION DATE : 19-12-00

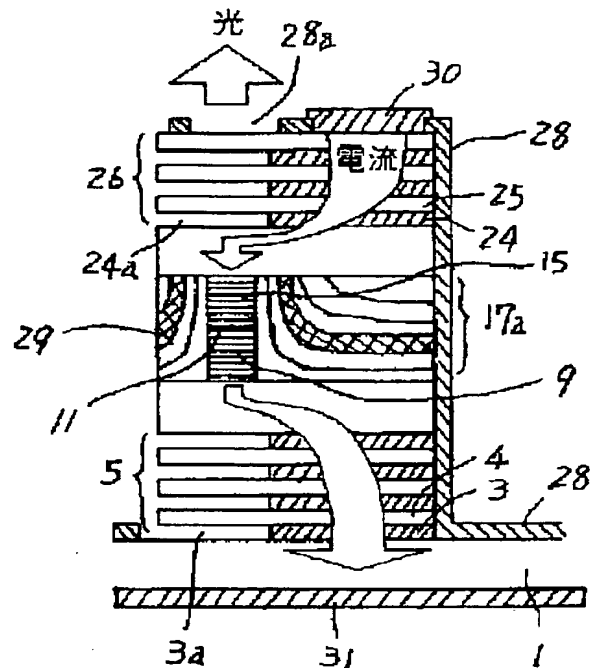
APPLICATION DATE : 14-06-99
APPLICATION NUMBER : 11166556

APPLICANT : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>;

INVENTOR : KAGAWA TOSHIKI;

INT.CL. : H01S 5/183

TITLE : SURFACE-EMITTING LASER AND
MANUFACTURE THEREOF



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a highly reliable surface-emitting laser which enables oscillation in the long wavelength region and single transverse mode operation, decreases the film thickness, and can be easily produced.

SOLUTION: There is provided an upper semiconductor multilayer 26, which contains semiconductor layers 24 and 25, over a structure in which an active layer 11 is embedded in a semiconductor and grown, and a lower semiconductor multilayer 5, which contains semiconductor layers 3 and 4 grown under the structure. The semiconductor layer 24 of the upper semiconductor multilayer 26 is partially removed to the optical waveguide, and the semiconductor layer 3 of the lower semiconductor multilayer 5 is also partially removed to the optical waveguide, making a DBR structure which consists of an air space 24a and the semiconductor layer 25, and another DBR structure which consists of an air layer 3a and the semiconductor layer 4.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-353858

(P2000-353858A)

(43) 公開日 平成12年12月19日 (2000. 12. 19)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 S 5/183

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

データベース(参考)

6 5 2 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平11-166556

(22) 出願日 平成11年6月14日 (1999. 6. 14)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 館野 功太

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 大磯 義孝

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(74) 代理人 100078499

弁理士 光石 俊郎 (外2名)

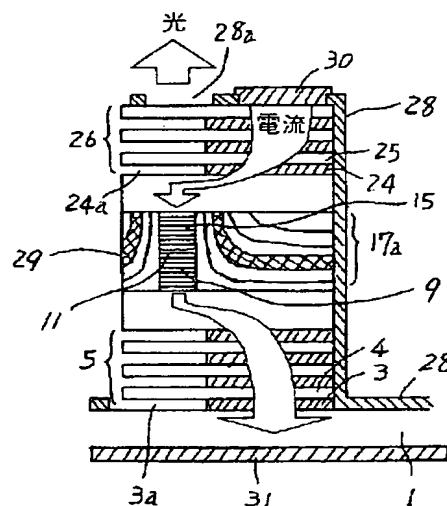
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 面発光レーザとその作製方法

(57) 【要約】

【課題】 長波長帯での発振が可能で、単一横モード動作が可能で、膜厚が薄く、信頼性が高く、作製が容易な面発光レーザを提供すること。

【解決手段】 活性層11とそれを半導体埋込成長した構造の上下に、半導体層24/半導体層25の上部多層半導体層26と、半導体層3/半導体層4の下部多層半導体層5を有する。上部多層半導体層26を一部の半導体層/半導体層を残して半導体層24を光導波部まで取り除き、下部多層半導体層5も一部の半導体層/半導体層を残して半導体層3を光導波部まで取り除き、各々空気層24a/半導体層25 DBR構造、空気層3a/半導体層4のDBR構造とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層と前記活性層を半導体埋込成長した構造の上下に、第一の半導体層と第二の半導体層とが交互に積層された導電性の上部多層半導体層と、第一の半導体層と第二の半導体層とが交互に積層された導電性の下部多層半導体層とを有し、前記上部多層半導体層の上に電極層を有すること、前記上部多層半導体層は前記活性層の直上を含む領域の第一の半導体層が取り除かれ、空気層と第二の半導体層とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造となっていること、及び、前記下部多層半導体層は前記活性層の直下を含む領域の第一の半導体層が取り除かれて、空気層と第二の半導体層とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造となっていることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項2】 活性層と前記活性層を半導体埋込成長した構造の上下に、第一の半導体層と第二の半導体層とが交互に積層された導電性の上部多層半導体層と、第一の半導体層と第二の半導体層とが交互に積層された導電性の下部多層半導体層を有し、前記上部多層半導体層の上に電極層を有すること、前記上部多層半導体層は前記活性層の直上を含む領域の第一の半導体層が酸化されて、酸化物層と第二の半導体層とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造となっていること、及び、前記下部多層半導体層は前記活性層の直下を含む領域の第一の半導体層が酸化されて、酸化物層と第二の半導体層とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造となっていることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項3】 前記上部多層半導体層の第一の半導体層はAlGaInAsであって第二の半導体層はAlGaInP であること、及び、前記下部多層半導体層の第一の半導体層はAlGaInAsであって第二の半導体層はAlGaInP であることを特徴とする請求項1又は2に記載の面発光レーザ。

【請求項4】 前記活性層の周囲を半導体埋込成長した構造は、埋め込まれる部分の平均の屈折率が埋込層の平均の屈折率より高い屈折率導波構造であることを特徴とする請求項1又は2又は3に記載の面発光レーザ。

【請求項5】 埋込層は p型AlGaInAsP と n型AlGaInAsP の繰り返し層、FeあるいはCrをドーピングした半絶縁 AlGaInAsP層、あるいはこれらの層の間に他の埋込層よりもAl組成の高いAlGaInAsの酸化層を有するものであることを特徴とする請求項1又は2又は3又は4に記載の面発光レーザ。

【請求項6】 前記活性層の周囲を半導体埋込成長した構造の活性層を含む埋め込まれる部分はAlGaInAsで構成され、その上下に低反射率の分布型ブラッグ反射鏡構造を有することを特徴とする請求項1又は2又は3に記載の面発光レーザ。

【請求項7】 請求項1又は3又は4又は5又は6に記載の面発光レーザを作製する方法において、前記上下の分布型ブラッグ反射鏡構造を、AlGaInAs層とAlGaInP 層

とが交互に積層された上下の多層半導体層のAlGaInAs層のみ光導波部分まで選択エッチングすることにより形成すること特徴とする面発光レーザの作製方法。

【請求項8】 請求項2から4いずれかに記載の面発光レーザを作製する方法において、前記上下の分布型ブラッグ反射鏡構造を、AlGaInAs層とAlGaInP 層とが交互に積層された上下の多層半導体層のAlGaInAs層のみAl組成を高くし、光導波部分まで選択酸化することにより形成すること特徴とする面発光レーザの作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は面発光レーザとその作製方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】面発光レーザは2次元アレイ化が容易であること、及び、出射角が小さく円形ビームであるためファイバとの結合に有利であることなどから、光インターコネクションや2次元並列信号処理用光源として有望である。更に、面発光レーザは微小化により低閾値化が可能であることから、低消費電力の点でも期待される。現在のところ、実用化まで至っているのは、GaAs基板上で作製された出力波長0.85 μm や0.98 μm 等の面発光レーザに限られている。

【0003】1.3 μm や1.55 μm を出力波長とする長波長帯面発光レーザは、長距離伝送や、更なる低閾値化において有望である。従来、GaAs基板上に成長したAlGaAsの分布型ブラッグ反射鏡と InP基板上に成長した GaInAsPの活性層とを貼り合わせた構成のものにより、室温連続発振が可能となった。しかし、未だ出力や信頼性の面で実用的なものには至っていない。また、従来の方法による面発光レーザにおいては、貼り合わせ界面が導電性や光吸収において十分でないこと、反射鏡が厚いためそこでの光吸収が大きいこと、GaInAsPの活性層がキャリアの閉じ込めや光吸収等の点で不十分であり温度特性が良くないこと、などの構造上の欠点や、貼り合わせによる複雑な作製工程が歩留りを悪くしやすいという作製上の欠点、等があげられる。

【0004】以下、分布型ブラッグ反射鏡をDBR(Distributed Bragg Reflectorの略)と呼ぶ。

【0005】長波長帯面発光レーザの構成においては、高反射率であり、成長膜の高精度な波長制御が可能であり、作製の容易な空気/半導体のDBR(分布型ブラッグ反射鏡)を有した構造が報告されている(文献「ELECTRONICS LETTERS, 18th July 1996, Vol. 32, No. 15, 1369-1370」)。しかし、この報告の構成では、活性層への均一な電流注入が不可能であるため、光励起までしか至っていない。

【0006】ここで、X層/Y層という表記は、X層とY層とが交互に積層された構造を意味する。

【0007】また、GaAs系の短波長帯面発光レーザで

は、AlAs酸化物層 GaAsのDBR（分布型ブラッグ反射鏡）を用いた構造が報告されている（文献「IEEE PHOTO NICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol.7, No.9, SEPTEMBER 1995, 968-970」）。しかし、この報告の構成では、活性層が光導波路構造を持たないため高出力時に横モードが多モードになりやすく、また、上下のDBRに電流を流すことができないので活性層の直上及び直下の層で電極が形成されたため作製が難しい構造であり、また、下側のDBRも全て半導体/酸化物であるため熱の放出が悪い、という欠点があった。また、DBRは全て半導体/半導体から水蒸気酸化によって半導体/酸化物に変化させるため、膜厚が変化するという欠点があった。更に、この報告の構成で長波長帯の面発光レーザを得るのは困難である。

【0008】長波長帯の電流注入型面発光レーザでは、格子整合の結晶膜を用いて半導体/空気もしくは半導体/酸化物のDBRを形成したという報告はない。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来技術に鑑み、本発明の課題は下記いずれかの特長を持つ面発光レーザとその作製方法を提供することにある。

- (1) 少ないペア数で高反射率が得られるように、DBRを構成する膜の屈折率差が大きいこと。
- (2) 高精度な波長制御が可能であるように、制御性に優れる気相エピタキシ法等で作製できること。
- (3) 半導体/半導体のDBRを有するものに比べて、膜厚が薄いこと。
- (4) 作製が容易であるように、DBRを通して電流注入が可能な構造であること。
- (5) 単一横モード動作が可能であるように、活性層が光導波路型構造であること。
- (6) 良好な熱の放出のために、下側DBRの一部が半導体/半導体であること。
- (7) 半導体/酸化物の膜厚が水蒸気酸化により変動することがないように、DBRの一部に半導体/半導体が残ること。
- (8) 長波長帯での発振が可能であること。
- (9) 作製が容易で信頼性も良く、高い特性が得られるように、格子整合の条件で連続成長することが可能であること。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、請求項1に係る発明の面発光レーザは、活性層と前記活性層を半導体埋込成長した構造の上下に、第一の半導体層と第二の半導体層とが交互に積層された導電性の上部多層半導体層と、第一の半導体層と第二の半導体層とが交互に積層された導電性の下部多層半導体層とを有し、前記上部多層半導体層の上に電極層を有すること、前記上部多層半導体層は前記活性層の直上を含む領域の第一の半導体層が取り除かれ、空気層と第二の半導体層

とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造となっていること、及び、前記下部多層半導体層は前記活性層の直下を含む領域の第一の半導体層が取り除かれて、空気層と第二の半導体層とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造となっていることを特徴とする。

【0011】請求項2に係る発明の面発光レーザは、活性層と前記活性層を半導体埋込成長した構造の上下に、第一の半導体層と第二の半導体層とが交互に積層された導電性の上部多層半導体層と、第一の半導体層と第二の半導体層とが交互に積層された導電性の下部多層半導体層を有し、前記上部多層半導体層の上に電極層を有すること、前記上部多層半導体層は前記活性層の直上を含む領域の第一の半導体層が酸化されて、酸化物層と第二の半導体層とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造となっていること、及び、前記下部多層半導体層は前記活性層の直下を含む領域の第一の半導体層が酸化されて、酸化物層と第二の半導体層とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造となっていることを特徴とするものである。

【0012】また、請求項3に係る発明の面発光レーザは、前記上部多層半導体層の第一の半導体層はAlGaInAsであって第二の半導体層はAlGaInPであること、及び、前記下部多層半導体層の第一の半導体層はAlGaInAsであって第二の半導体層はAlGaInPであることを特徴とし、請求項4に係る発明の面発光レーザは、前記活性層の周囲を半導体埋込成長した構造は、埋め込まれる部分の平均の屈折率が埋込層の平均の屈折率より高い屈折率導波路構造であることを特徴とし、請求項5に係る発明の面発光レーザは、埋込層はp型AlGaInAsPとn型AlGaInAsPの繰り返し層、FeあるいはCrをドーピングした半絶縁AlGaInAsP層、あるいはこれらの層の間に他の埋込層よりもAl組成の高いAlGaInAsの酸化層を有するものであることを特徴とし、請求項6に係る発明の面発光レーザは、前記活性層の周囲を半導体埋込成長した構造の活性層を含む埋め込まれる部分はAlGaInAsで構成され、その上下に低反射率の分布型ブラッグ反射鏡構造を有することを特徴とする。

【0013】更に、請求項7に係る発明は空気層と第二の半導体層とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造を上下に有する面発光レーザの作製方法であり、前記上下の分布型ブラッグ反射鏡構造を、AlGaInAs層とAlGaInP層とが交互に積層された上下の多層半導体層のAlGaInAs層のみ光導波部分まで選択エッチングすることにより形成すること特徴とする。

【0014】請求項8に係る発明は酸化物層と第二の半導体層とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡構造を上下に有する面発光レーザの作製方法であり、前記上下の分布型ブラッグ反射鏡構造を、AlGaInAs層とAlGaInP層とが交互に積層された上下の多層半導体層のAlGaInAs層のみAl組成を高くし、光導波部分まで選択酸化する

ことにより形成すること特徴とする。

【0015】

【発明の実施の形態】〔第1実施形態例〕図1～図5を参照して、本発明の第1実施形態例を説明する。図1と図2は第1実施形態例に係る面発光レーザの構造を示す断面図と平面図であり、図3～図5はその製作工程を示す。

【0016】図1、図2に示す面発光レーザは、活性層11と活性層11を半導体埋込成長した構造の上下に、下部多層半導体層5と上部多層半導体層26を有している。上部多層半導体層26の上にはn型電極層30を有し、基板裏面にp型電極31を有している。符号28はSiO₂膜やSiN_x膜等の保護膜を示し、符号28aは光の出射窓を示す。

【0017】下部多層半導体層5は第一の半導体層3と第二の半導体層4とが交互に積層された導電性の多層膜構造であり、一部に第一の半導体層3/第二の半導体層4を残すように、活性層11の直下を含む領域の第一の半導体層3のが取り除かれて、空気層3aと第二の半導体層4とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡(DBR)構造となっている。通常、第一の半導体層3はAlGaInAs層、第二の半導体層4はAlGaInP層であり、AlGaInAs層3のみ光導波部分まで、一部を残して選択エッチングすることにより上記のDBR構造に形成してある。

【0018】上部多層半導体層26は第一の半導体層24と第二の半導体層25とが交互に積層された導電性の多層膜構造であり、一部に第一の半導体層24/第二の半導体層25を残すように、活性層11の直上を含む領域の第一の半導体層24が取り除かれて、空気層24aと第二の半導体層25とが交互に積層されたDBR構造となっている。通常、第一の半導体層24はAlGaInAs層、第二の半導体層25はAlGaInP層であり、AlGaInAs層24のみ光導波部分まで選択エッチングすることにより上記のDBR構造に形成してある。

【0019】活性層11の周囲を半導体埋込成長した構造は、埋め込まれる部分の平均の屈折率が埋込層の平均の屈折率より高い屈折率光導波構造にしてある。具体的には、活性層11とその上下の多層膜9、15の平均の屈折率を、その埋込層17aの平均の屈折率より高くして、活性層11を光導波構造にしてある。

【0020】埋込層17aは基本的にはp型AlGaInAsPとn型AlGaInAsPの繰り返し層とし、更に、これらの層の間に他の層よりもAl組成の高いAlGaInAsの酸化層29を有している。

【0021】更に、活性層11の周囲を半導体埋込成長した構造の活性層11を含む埋め込まれる部分はAlGaInAsで構成してあり、その上下に低反射率の分布型ブラッグ反射鏡構造の多層膜9、15を有している。

【0022】図1、図2に示した面発光レーザは、下記の作用効果を持つ。

(1) 分布型ブラッグ反射鏡(DBR)が空気層3a/第二の半導体層4(あるいは空気層24a/第二の半導体層25)であるため、DBRを構成する膜の屈折率差を大きくして、少ないペア数で高い反射率を得ることができる。

(2) 制御性に優れる気相エピタキシ法等をDBRの形成に適用することができるため、高精度な波長制御が可能である。

(3) DBRを構成する膜のペア数が少なく良いため、半導体/半導体のDBRを有するものに比べ、面発光レーザの膜厚が薄くなる。

(4) DBRの一部に半導体/半導体が残るため、そこに電極を設けることができ、DBRを通して電流注入が可能な構造である。従って、面発光レーザの作製が容易である。

(5) 埋込構造を同時に有して活性層11が光導波型構造であるため、単一横モード動作が可能である。

(6) 下側のDBRの一部に半導体/半導体が残るため、熱の放出性が良い。

(7) 格子整合の結晶成長膜でInP基板1上に成長可能であることから、長波長帯での発振可能な特性と信頼性の高い面発光レーザが得られる。

(8) 活性層11の上下に低反射率の分布型ブラッグ反射鏡構造の多層膜9、15を有しているため、電流の均一な注入が可能であり、かつ、光導波特性が更に良くなるため効率が良い。

(9) 以上のことから、低閾値電流で高光出力、かつ、単一横モードの高性能な面発光レーザが実現される。

(10) 埋込層17aが基本的にはp型AlGaInAsPとn型AlGaInAsPの繰り返し層であるため、活性層11回りの埋込層部分の抵抗が高く、活性層11に電流が効率良く注入される。更に、Al組成の高いAlGaInAsの酸化層29を有しているのて、活性層11回りの埋込層部分が更に高抵抗となり、活性層11に一層効率良く電流が注入される。

【0023】次に、面発光レーザの作製方法の一例を、発振波長を $\lambda=1.55\mu\text{m}$ として、図3～図5を参照して説明する。

【0024】図3(a)に示すように、p型InP基板1上に、

①p型InPバッファ層2、

② $\lambda=1.55\mu\text{m}$ の発振波長に対して、光学長 $\lambda/4$ のp型Ga_{0.468}In_{0.532}As層3(第一の半導体層)と光学長 $(3/4)\lambda$ のp型InP層(第二の半導体層)4をペアとして3.5ペア繰り返して、導電性の下部多層半導体層5(ここで、GaInAs層3のみ光学長 $\lambda/4$ は空気の屈折率を元に算出し、p型Ga_{0.468}In_{0.532}As層3はAl組成をゼロとしたAlGaInAsであり、p型InP層4はAl組成とGa組成をゼロとしたAlGaInPである。)、

③光学長 2λ のp型InP層6、

④ p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{As}$ 層7とp型 $\text{Al}_m\text{Ga}_n\text{In}_{1-m-n}\text{As}$ 層8をベアとする2.5ペアの繰り返し多層膜9（この場合、 $x>m$ 、 $x+y=m+n$ であり、層7と層8はどちらもInPに格子整合する。 $x>m$ であるから、層7の方が層8よりAl組成が大きい。ここでは、 $x=0.468$ 、 $y=0$ 、 $m=0.2$ 、 $n=0.268$ としている。p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{As}$ 層7とp型 $\text{Al}_m\text{Ga}_n\text{In}_{1-m-n}\text{As}$ 層8はP組成をゼロとしたAlGaInAsPである。）

⑤引き続き、ノンドープの $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{As}$ 傾斜層10（ここでは、 $x=0.2\sim 0.4$ 、 $y=0.268\sim 0.068$ としている。）と、 $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.408}\text{In}_{0.532}\text{As}$ 井戸層及び $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.268}\text{In}_{0.532}\text{As}$ 障壁層から構成される光学長 λ の活性層（3QWs）11とを含むスペーサ層12、及び⑥ n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{As}$ 層13とn型 $\text{Al}_m\text{Ga}_n\text{In}_{1-m-n}\text{As}$ 層14をベアとして、2.5ペア繰り返した多層膜15（この場合、 $x>m$ 、 $x+y=m+n$ であり、層13と層14はどちらもInPに格子整合する。 $x>m$ であるから、層13の方が層14よりAl組成が大きい。ここでは、 $x=0.468$ 、 $y=0$ 、 $m=0.2$ 、 $n=0.268$ としている。n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{As}$ 層13とn型 $\text{Al}_m\text{Ga}_n\text{In}_{1-m-n}\text{As}$ 層14はP組成をゼロとしたAlGaInAsPのである。）を初めに順次成長した。

⑦その上に、膜厚600nmの SiO_2 層16を、例えば5～20 μm 径で、円形あるいは正方形にパターニングした。

【0025】次に、図3（b）に示すように、 SiO_2 層16をマスクに利用してp型InP層6までエッチングを行い、図3（c）に示すように、220nm厚のp型InP層17、220nm厚のn型InP層18、220nm厚のノンドープAlInAs層19、220nm厚のn型InP層20、220nm厚のp型InP層21の構造を2回繰り返して、活性層11の周囲を埋込成長した。ここで、符号22は層17～21の2回目の構造を表す。

【0026】層17～21は基本的にはAlGaInAsPであるが、p型InP層17、n型InP層18、n型InP層20及びp型InP層21は、n型またはp型のAlGaInAsPのAl組成、Ga組成及びAs組成をゼロとしたものであり、ノンドープAlInAs層19はAlGaInAsPのGa組成とP組成をゼロとしたものである。ノンドープAlInAs層19は他の層17～18、20～21よりもAl組成が高い。

【0027】次に、図4（a）に示すように、 SiO_2 層16によるマスクを除去後、光学波長 2λ のn型InP層23を成長し、これに引き続き、光学長 $\lambda/4$ のn型 $\text{Ga}_{0.468}\text{In}_{0.532}\text{As}$ 層24（第一の半導体層）と光学長 $(3/4)\lambda$ のn型InP層（第二の半導体層）25をベアとして2.5ペア繰り返して、導電性の上部多層半導体層26を成長した。ここで、GaInAs層24の光学長 $\lambda/4$ のみ空気の屈折率を元に算出し、n型 $\text{Ga}_{0.468}\text{In}_{0.532}\text{As}$ 層24はAl組成をゼロとしたAlGaInAsであり、n型InP層25はAl組成とGa組成をゼロとしたAlGaInPである。

【0028】次に、図4（b）に示すように、 SiO_2 層27をマスクとして面発光レーザの層厚分エッチングすることにより、50 μm φのメサを形成した。このエッチングに際し、メサ内部に活性層部を含み、かつ、この活性層部がメサの中央よりも外れるように（図では左側にずらして）メサを形成した。その後、図4（c）に示すように、プラズマCVD法により SiN_x 又は SiO_2 を保護膜28として全面蒸着した。

【0029】保護膜28の全面蒸着後、図5（a）に示すように、活性層部に近い方（図では左側）のメサ端の保護膜28を選択的にエッチングして開口部を形成した。

【0030】開口部の形成後、図5（b）に示すように、上部多層半導体層26のn型GaInAs層24及び下部多層半導体層5のp型GaInAs層3のみを、開口部から活性層11の上下まで至るように、過酸化水素と水のエッチング液を用いて選択エッチングした。この選択エッチングにより、高反射率のInP層4/空気層3a（InP層25/空気層24a）からなるDBR（分布型ブラッグ反射鏡）が活性層11の上下に形成された。下部多層半導体層5では一部にInP層4/GaInAs層3が残り、上部多層半導体層26では一部にInP層25/GaInAs層24が残っている。

【0031】更に、図5（b）に符号29で示すように、埋込層のAlGaInAs層、具体的にはノンドープAlInAs層19を選択酸化した。このAlGaInAs酸化層29により、活性層11回りの埋込層部分が更に高抵抗になり、活性層11に更に電流を効率良く注入することが可能となった。

【0032】最後に、図5（c）に示すように、活性層11上部の保護膜28を除去して光出射窓28aを形成し、上部多層半導体層26の選択エッチングが及んでいない領域の上部の保護膜28を除去してAuGeNiのn型電極30を形成した。また、p型InP基板1の裏面を研磨してAuZnNiのp型電極31を形成した。

【0033】このようにして作製した面発光レーザのチップの特性を調べた。図6はその面発光レーザの電流対光出力特性並びに電流対電圧特性を示す。この面発光レーザは1.55 μm の波長で発光し、破線で示される従来のGaInAsPを活性層に持つ面発光レーザに比べ、閾値電流が低く、また、同じ電流値に対し光出力が増大していることを確認した。更に、最高光出力まで単一横モード発振を確認した。また、用いたAlGaInAs及びAlGaInPの組成を変えてInPに対して+10%～10%の範囲で格子定数を変えても、同様な特性が得られることを確認した。

【0034】【第2実施形態例】図7～図10を参照して、本発明の第2実施形態例を説明する。図7は第2実施形態例に係る面発光レーザの構造を示す断面図であり、図8～図10にその製作工程を示す。

【0035】図7に示す面発光レーザは、活性層42と活性層42を半導体埋込成長した構造の上下に、下部多層半導体層36と上部多層半導体層57を有している。上部多層半導体層57の上にはp型電極層61を有し、基板裏面にn型電極62を有している。符号59はSiO₂膜やSiN_x膜等の保護膜を示し、符号59aは光の射出窓を示す。

【0036】下部多層半導体層36は第一の半導体層34と第二の半導体層35とが交互に積層された導電性の多層膜構造であり、一部に第一の半導体層34/第二の半導体層35がのこるように、活性層42の直下を含む領域の第一の半導体層34が酸化されて、酸化物層34aと第二の半導体層35とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡(DBR)構造となっている。通常、第一の半導体層34はAlGaInAs層、第二の半導体層35はAlGaInP層であり、AlGaInAs層34のみ光導波部分まで選択酸化することにより上記のDBR構造に形成してある。

【0037】上部多層半導体層57は第一の半導体層55と第二の半導体層56とが交互に積層された導電性の多層膜構造であり、一部に第一の半導体層55/第二の半導体層56を残すように、活性層42の直上を含む領域の第一の半導体層55が酸化されて、酸化物層と第二の半導体層56とが交互に積層されたDBR構造となっている。通常、第一の半導体層55はAlGaInAs層、第二の半導体層56はAlGaInP層であり、AlGaInAs層55のみ光導波部分まで選択酸化することにより上記のDBR構造に形成してある。

【0038】活性層42の周囲を半導体埋込成長した構造は、埋め込まれる部分の平均の屈折率が埋込層の平均の屈折率より高い屈折率導波構造にしてある。具体的には、活性層42とその上下の多層膜40、46の平均屈折率を、その埋込層48aの平均屈折率より高くして、活性層42を光導波構造にしてある。

【0039】埋込層48aは基本的にはp型AlGaInAsPとn型AlGaInAsPの繰り返し層と、FeあるいはCrドーピングした半絶縁AlGaInAsP層とし、更に、これらの層の間に他の層よりもAl組成の高いAlGaInAsPの酸化層60を有している。

【0040】更に、活性層42の周囲を半導体埋込成長した構造の活性層42を含む埋め込まれる部分はAlGaInAsで構成してあり、その上下に低反射率の分布型ブラッグ反射鏡構造の多層膜40、46を有している。

【0041】図7に示した面発光レーザは、下記の作用効果を持つ。

(1) 分布型ブラッグ反射鏡(DBR)が酸化物層34a/第二の半導体層35(あるいは酸化物層55a/第二の半導体層56)であるため、DBRを構成する膜の屈折率差を大きくして、少ないペア数で高い反射率を得ることができる。

(2) 制御性に優れる気相エビタキシ法等をDBRの形成に適用することができるため、高精度な波長制御が可能である。

(3) DBRを構成する膜のペア数が少なくても良いため、半導体/半導体のDBRを有するものに比べ、面発光レーザの膜厚が薄くなる。

(4) DBRの一部に半導体/半導体が残るため、そこに電極を設けることができ、DBRを通して電流注入が可能な構造である。従って、面発光レーザの作製が容易である。

(5) 埋込構造を同時に有して活性層42が光導波型構造であるため、単一横モード動作が可能である。

(6) 下側のDBRの一部に半導体/半導体が残るため、熱の放出性が良い。

(7) 格子整合の結晶成長膜でInP基板32上に成長可能であることから、長波長帯での発振可能な特性と信頼性の高い面発光レーザが得られる。

(8) 活性層42の上下に低反射率の分布型ブラッグ反射鏡構造の多層膜40、46を有しているため、電流の均一な注入が可能であり、かつ、光導波特性が更に良くなるため効率が良い。

(9) 以上のことから、低閾値電流で高光出力、かつ、単一横モードの高性能な面発光レーザが実現される。

(10) 埋込層48aが基本的にはp型AlGaInAsPとn型AlGaInAsPの繰り返し層と、FeあるいはCrドーピングした半絶縁AlGaInAsP層であるため、活性層42回りの埋込層部分の抵抗が高く、活性層42に電流が効率良く注入される。更に、Al組成の高いAlGaInAs酸化層60を有しているため、活性層42回りの埋込層部分が更に高抵抗となり、活性層42に一層効率良く電流が注入される。

【0042】次に、面発光レーザの作製方法の一例を、発振波長を $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ として、図8～図10を参照して説明する。

【0043】図8(a)に示すように、n型InP基板32上に、

① n型InPバッファ層33、

② $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ の発振波長に対して、光学長 $\lambda/4$ のn型Al_{0.460}Ga_{0.008}In_{0.532}As層34(第一の半導体層)と光学長 $(3/4)\lambda$ のn型InP層(第二の半導体層)35をペアとして3.5ペア繰り返し、導電性の下部多層半導体層36(ここで、AlGaInAs層34のみ光学長 $\lambda/4$ をAlGaInAs酸化物の屈折率を元に算出し、n型InP層35はAl組成とGa組成をゼロとしたAlGaInPである。)、

③ 光学長 2λ のn型InP層37、

④ n型Al_xGa_yIn_{1-x-y}As層38とn型Al_mGa_nIn_{1-m-n}As層39をペアとする2.5ペアの繰り返し多層膜40(この場合、 $x > m$ 、 $x + y = m + n$ であり、層38と層39はどちらもInPに格子整合する。 $x > m$ で

あるから、層38の方が層39よりAl組成が大きい。ここでは、 $x=0.468$ 、 $y=0$ 、 $m=0.25$ 、 $n=0.218$ としている。 n 型 $\text{Al}_{1-x-y}\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}$ 層38と n 型 $\text{Al}_{1-m-n}\text{Ga}_m\text{In}_{1-m-n}\text{As}$ 層39はP組成をゼロとした AlGaInAsP である。)

⑤引き続き、ノンドープの $\text{Al}_{1-x-y}\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}$ 傾斜層41（ここでは、 $x=0.2\sim0.4$ 、 $y=0.218\sim0.068$ としている）と、 $\text{Al}_{0.154}\text{Ga}_{0.314}\text{In}_{0.532}\text{As}$ 井戸層及び $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.218}\text{In}_{0.532}\text{As}$ 障壁層から構成される光学長 λ の活性層（3QWs）42とを含むスペーサ層43、及び⑥ p 型 $\text{Al}_{1-x-y}\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}$ 層44と p 型 $\text{Al}_{1-m-n}\text{Ga}_m\text{In}_{1-m-n}\text{As}$ 層45をベアとして、2.5ベア繰り返した多層膜46（この場合、 $x>m$ 、 $x+y=m+n$ であり、層44と層45はどちらもInPに格子整合する。 $x>m$ であるから、層44の方が層45よりAl組成が大きい。ここでは、 $x=0.468$ 、 $y=0$ 、 $m=0.25$ 、 $n=0.218$ としている。 p 型 $\text{Al}_{1-x-y}\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}$ 層44と p 型 $\text{Al}_{1-m-n}\text{Ga}_m\text{In}_{1-m-n}\text{As}$ 層45はP組成をゼロとした AlGaInAsP である。）を初めに順次成長した。

⑦その上に、膜厚600nmの SiO_2 層47を、例えば5～20 μm 径で、円形あるいは正方形にパターンニングした。

【0044】次に、図8（b）に示すように、 SiO_2 層47をマスクに利用して n 型InP層37までエッチングを行い、図8（c）に示すように、50nm厚のノンドープInP層48、390nm厚のFeあるいはCrドープのInP層49、220nm厚のノンドープAlInAs層50、390nm厚のFeあるいはCrドープのInP層51、50nm厚のノンドープInP層52の構造を2回繰り返して、活性層42の周囲を埋込成長した。ここで、符号53は層48～52の2回目の構造を表す。

【0045】層48～52は基本的には AlGaInAsP 、及びFeあるいはCrドープの半絶縁 AlGaInAsP であるが、層48及び52はAl組成、Ga組成及びAs組成をゼロとした AlGaInAsP であり、層49及び52はAl組成、Ga組成及びAs組成をゼロとしたFeあるいはCrドープの半絶縁 AlGaInAsP であり、ノンドープAlInAs層50はGa組成とP組成をゼロとした AlGaInAsP である。ノンドープAlInAs層50は他の層48～49、51～52よりAl組成が高い。

【0046】次に、図9（a）に示すように、 SiO_2 層47によるマスクを除去後、光学波長 2λ の p 型InP層54、これに引き続き、光学長 $\lambda/4$ の p 型 $\text{Al}_{0.460}\text{Ga}_{0.008}\text{In}_{0.532}\text{As}$ 層55（第一の半導体層）と光学長 $(3/4)\lambda$ の p 型InP層（第二の半導体層）56をベアとして2.5ベア繰り返して、導電性の上部多層半導体層57を成長した。ここで、 AlGaInAs 層55のみ光学長 $\lambda/4$ は AlGaInAs 酸化物の屈折率を元に算出し、 p 型InP層56はAl組成とGa組成をゼロとした AlGaInP である。

【0047】次に、図9（b）に示すように、 SiO_2 層58をマスクとして面発光レーザの層厚分エッチングすることにより、50 μm 径のメサを形成した。このエッチングに際し、メサ内部に活性層部を含み、この活性層部がメサの中央よりも外れるようにメサを形成した。その後、図9（c）に示すように、プラズマCVD法により SiN_x 又は SiO_2 を保護膜59として全面蒸着した。

【0048】保護膜59の全面蒸着後、図10（a）に示すように、活性層部に近い方（図では左側）のメサ端の保護膜59を選択的にエッチングして開口部を形成した。

【0049】開口部の形成後、図10（b）に示すように、上部多層半導体層57の p 型 AlGaInAs 層55及び下部多層半導体層36の n 型 AlGaInAs 層34のみを選択酸化して、開口部から活性層42の上下まで至る AlGaInAs 酸化物層34a、55aを形成した。また、符号60で示すように、埋込層の AlGaInAs 層、具体的にはノンドープAlInAs層50を選択酸化した。

【0050】この選択酸化により、高反射率のInP層35/ AlGaInAs 酸化物層34a（InP層56/ AlGaInAs 酸化物層55a）からなるDBR（分布型ブラッグ反射鏡）が活性層42の上下に部分的に形成された。下部多層半導体層36では一部にInP層35/ AlGaInAs 層34が残り、上部多層半導体層57では一部にInP層56/ AlGaInAs 層55が残っている。

【0051】更に、埋込層ではAlInAs層50のAl組成が高いことから活性層42回りの全面に高抵抗の酸化物層60が形成され、埋込層部分が更に高抵抗になって、活性層42に電流を更に効率良く注入することが可能となった。

【0052】最後に、図10（c）に示すように、活性層42上部の保護膜59を除去して光出射窓59aを形成し、上部多層半導体層57の選択酸化が及んでいない領域の上部の保護膜59を除去してAuZnNiの p 型電極61を形成した。また、 n 型InP基板32の裏面を研磨してAuGeNiの n 型電極62形成した。

【0053】このようにして作製した面発光レーザのチップの特性を調べた。この面発光レーザは1.3 μm の波長で発光し、第1実施形態例と同様に、従来のGaInAsPを活性層に持つ面発光レーザに比べ、閾値電流が低く、また、同じ電流値に対し光出力が増大していることを確認した。更に、最高光出力まで単一横モード発振を確認した。また、用いた AlGaInAs 及び AlGaInP の組成を変えてInPに対して+10%～10%の範囲で格子定数を変えても、同様な特性が得られることを確認した。

【0054】〔第3実施形態例〕図11～図14を参照して、本発明の第3実施形態例を説明する。図11は第3実施形態例に係る面発光レーザの構造を示す断面図であり、図12～図14にその製作工程を示す。

【0055】図11に示す面発光レーザは、活性層73

と活性層73を半導体埋込成長した構造の上下に、下部多層半導体層67と上部多層半導体層88を有している。上部多層半導体層57の上にp型電極層92を有し、基板裏面にn型電極93を有している。符号90はSiO₂膜やSiN_x膜等の保護膜を示し、符号90aは光の出射窓を示す。

【0056】下部多層半導体層67は第一の半導体層65と第二の半導体層66とが交互に積層された導電性の多層膜構造であり、一部に第一の半導体層65/第二の半導体層66を残すように、活性層73の直下を含む領域の第一の半導体層65が酸化されて、酸化物層65aと第二の半導体層66とが交互に積層された分布型ブラッグ反射鏡(DBR)構造となっている。通常、第一の半導体層65はAlGaInAs層、第二の半導体層66はAlGaInP層であり、AlGaInAs層65のみ光導波部分まで選択酸化することにより上記のDBR構造に形成してある。

【0057】上部多層半導体層88は第一の半導体層86と第二の半導体層87とが交互に積層された導電性の多層膜構造であり、一部に第一の半導体層86/第二の半導体層87を残すように、活性層73の直上を含む領域の第一の半導体層86が酸化されて、酸化物層86aと第二の半導体層87とが交互に積層されたDBR構造となっている。通常、第一の半導体層86はAlGaInAs層、第二の半導体層87はAlGaInP層であり、AlGaInAs層86のみ光導波部分まで選択酸化することにより上記のDBR構造に形成してある。

【0058】活性層73の周囲を半導体埋込成長した構造は、埋め込まれる部分の平均の屈折率が埋込層の平均の屈折率より高い屈折率導波構造にしてある。具体的には、活性層73とその上下の多層膜71、77の平均屈折率を、その埋込層79aの平均屈折率より高くして、光導波構造にしてある。

【0059】埋込層79aは基本的にはp型AlGaInAsPとn型AlGaInAsPの繰り返し層と、FeあるいはCrドーピングした半絶縁AlGaInAsP層とし、更に、これらの層の間に他の層よりもAl組成の高いAlGaInAsPの酸化層91を有している。

【0060】更に、活性層73の周囲を半導体埋込成長した構造の活性層73を含む埋め込まれる部分はAlGaInAsで構成してあり、その上下に低反射率の分布型ブラッグ反射鏡構造の多層膜71、77を有している。

【0061】図11に示した面発光レーザは、下記の作用効果を持つ。

(1) 分布型ブラッグ反射鏡(DBR)が酸化物層65a/第二の半導体層66(あるいは酸化物層86a/第二の半導体層87)であるため、DBRを構成する膜の屈折率差を大きくして、少ないペア数で高い反射率を得ることができる。

(2) 制御性に優れる気相エピタキシ法等をDBRの形成に適用することができるため、高精度な波長制御が可能

である。

(3) DBRを構成する膜のペア数が少なく良いため、半導体、半導体のDBRを有するものに比べ、面発光レーザの膜厚が薄くなる。

(4) DBRの一部に半導体、半導体が残るため、そこに電極を設けることができ、DBRを通して電流注入が可能な構造である。従って、面発光レーザの作製が容易である。

(5) 埋込構造を同時に有して活性層73が光導波型構造であるため、単一横モード動作が可能である。

(6) 下側のDBRの一部に半導体、半導体が残るため、熱の放出性が良い。

(7) 格子整合の結晶成長膜でGaAs基板63上に成長可能であることから、短波長対での発振可能な特性と信頼性の高い面発光レーザが得られる。

(8) 活性層73の上下に低反射率の分布型ブラッグ反射鏡構造の多層膜71、77を有しているため、電流の均一な注入が可能であり、かつ、光導波特性が更に良くなるため効率が良い。

(9) 以上のことから、低閾値電流で高光出力、かつ、単一横モードの高性能な面発光レーザが実現される。

(10) 埋込層79aが基本的にはp型AlGaInAsPとn型AlGaInAsPの繰り返し層と、FeあるいはCrドーピングした半絶縁AlGaInAsP層であるため、活性層73回りの埋込層部分の抵抗が高く、活性層73に電流が効率良く注入される。更に、Al組成の高いAlGaInAs酸化層91を有しているため、活性層73回りの埋込層部分が更に高抵抗となり、活性層73に一層効率良く電流が注入される。

【0062】次に、面発光レーザの作製方法の一例を、発振波長を $\lambda=0.85\mu\text{m}$ として、図12～図14を参照して説明する。

【0063】図12(a)に示すように、n型GaAs基板63上に、

① n型GaAsバッファ層64、

② $\lambda=0.85\mu\text{m}$ の発振波長に対して、光学長 $\lambda/4$ のn型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層65(第一の半導体層)と光学長 $(3/4)\lambda$ のn型Ga_{0.5}In_{0.5}P層(第二の半導体層)66をペアとして3.5ペア繰り返し、導電性の下部多層半導体層67(ここで、AlGaAs層65の光学長 $\lambda/4$ のみAlGaAs酸化物の屈折率を元に算出し、n型AlGaAs層65はIn組成をゼロとしたAlGaInAsであり、n型GaInP層66はAl組成をゼロとしたAlGaInPである。)、

③ 光学長 2λ のn型Ga_{0.5}In_{0.5}P層68、

④ n型Al_{0.5}Ga_{0.5}As層69とn型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層70をペアとする2.5ペアの繰り返し多層膜71(この場合、層69の方が層70よりAl組成が大きい。n型Al_{0.5}Ga_{0.5}As層69とn型Al_{0.5}Ga_{0.5}As層70はIn組成とP組成をゼロとしたAlGaInAsPである。)、

⑤ 引き続き、ノンドープのAl_xGa_{1-x}As傾斜層72(こ

こでは、 $x=0.3\sim 0.4$ としている)と、GaAs井戸層及び $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 障壁層から構成される光学長 λ の活性層 (3QWS) 73とを含むスペーサ層74、及び

⑥ p型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 層75とp型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層76をペアとして、2.5ペア繰り返した多層膜77(この場合、層75の方が層76よりAl組成が大きい。p型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 層75とp型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層76はIn組成とP組成をゼロとした AlGaInAsP である。)を初めに順次成長した。

⑦その上に、膜厚600nmの SiO_2 層78を、例えば5~20 μm 径で、円形あるいは正方形にパターンニングした。

【0064】次に、図12(b)に示すように、 SiO_2 層78をマスクに利用してn型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層68までエッチングを行い、図12(c)に示すように、50nm厚のノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層79、220nm厚のFeあるいはCrドープの $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層80、120nm厚のノンドープ $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ 層81、220nm厚のFeあるいはCrドープの $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層82、50nm厚のノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層83の構造を2回繰り返して、活性層73の周囲を埋込成長した。ここで、符号84は層79~83の2回目の構造を表す。

【0065】層79~83は基本的には AlGaInAsP であるが、層79、層80、層82及び83は AlGaInAsP のAl組成とAs組成をゼロとしたものであり、層81は AlGaInAsP のIn組成とP組成をゼロとしたものである。

【0066】層79~83は基本的には AlGaInAsP 、及びFeあるいはCrドープの半絶縁 AlGaInAsP であるが、層79及び83はAl組成及びAs組成をゼロとした AlGaInAsP であり、層80及び83はGa組成及びAs組成をゼロとしたFeあるいはCrドープの半絶縁 AlGaInAsP であり、ノンドープ AlGaAs 層81はIn組成とP組成をゼロとした AlGaInAsP である。ノンドープ AlGaAs 層81は他の層79~80、82~63よりAl組成が高い。

【0067】次に、図13(a)に示すように、 SiO_2 層78によるマスクを除去後、光学波長 2λ のp型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層85を成長し、これに引き続き、光学長 $\lambda/4$ のp型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層86(第一の半導体層)と光学長 $(3/4)\lambda$ のp型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層(第二の半導体層)87をペアとして2.5ペア繰り返して、導電性の上部多層半導体層88を成長した。ここで、 AlGaAs 層86の光学長 $\lambda/4$ は AlGaAs 酸化物の屈折率を元に算出し、p型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層86はIn組成をゼロとした AlGaInAs であり、p型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層87はAl組成をゼロとした AlGaInP である。

【0068】次に、図13(b)に示すように、 SiO_2 層89をマスクとして面発光レーザの層厚分エッチングすることにより、50 μm φのメサを形成した。このエッチングに際し、メサ内部に活性層部を含み、この活性層部がメサの中央よりも外れるようにメサを形成した。そ

の後、図13(c)に示すように、プラズマCVD法により SiN_x 又は SiO_2 を保護膜90として全面蒸着した。

【0069】保護膜90の全面蒸着後、図14(a)に示すように、活性層部に近い方(図では左側)のメサ端の保護膜90を選択的にエッチングして開口部を形成した。

【0070】開口部の形成後、図14(b)に示すように、上部多層半導体層88のp型 AlGaAs 層86及び下部多層半導体層67のn型 AlGaAs 層65を選択酸化して、開口部から活性層73の上下まで至る AlGaAs 酸化物層65a、86aを形成した。また、符号91で示すように、埋込層の AlGaInAs 層、具体的にはノンドープ AlGaAs 層81を選択酸化した。

【0071】この選択酸化により、高反射率の $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層66/ AlGaAs 酸化物層65a ($\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層87/ AlGaAs 酸化物層86a)からなるDBR(分布型ブラッグ反射鏡)が活性層73の上下に部分的に形成された。下部多層半導体層67では一部に $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層66/ AlGaAs 層65が残り、上部多層半導体層88では一部に $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層87/ AlGaAs 層86が残っている。

【0072】更に、埋込層ではノンドープ $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ 層81のAl組成が高いことから活性層73回りの全面に高抵抗の酸化物層91が形成され、埋込層部分が更に高抵抗になって、活性層73に電流を更に効率良く注入することが可能となった。

【0073】最後に、図14(c)に示すように、活性層73上部の保護膜90を除去して光出射窓90aを形成し、上部多層半導体層88の選択酸化が及んでいない領域の上部の保護膜90を除去して AuZnNi のp型電極92を形成した。また、n型GaAs基板63の裏面を研磨して AuGeNi のn型電極93形成した。

【0074】このようにして作製した面発光レーザのチップの特性を調べた。この面発光レーザは0.85 μm の波長で発光し、従来の特性の良い酸化型の AlGaAs 系面発光レーザよりも、10%程度閾値電流が低く、また、光出力も20%程度高く、また、30%程度抵抗が低いことを確認した。更に、最高光出力まで単一横モード発振を確認した。

【0075】

【発明の効果】以上説明したように本発明の面発光レーザとその作製方法によれば、下記の効果がある。

(1) 分布型ブラッグ反射鏡(DBR)の構造が半導体/空気層あるいは半導体/酸化物層であるため、DBRを構成する膜の屈折率差を大きくして少ないペア数で高い反射率を得ることができる。

(2) 制御性に優れる気相エビタキシ法等をDBRの形成に適用することができるため、高精度な波長制御が可能である。

(3) DBRを構成する膜のペア数が少なくても良いため、半導体/半導体のDBRを有するものに比べ、面発光レ

ーザの膜厚が薄くなる。

(4) DBRの一部に半導体／半導体が残るため、そこに電極を設けることができ、DBRを通して電流注入が可能な構造である。従って、面発光レーザの作製が容易である。

(5) 埋込構造を同時に有して活性層が光導波型構造であるため、単一横モード動作が可能である。

(6) 下側のDBRの一部に半導体／半導体が残るため、熱の放出性が良い。

(7) DBRの一部に半導体／半導体が残るため、半導体／酸化物層の膜厚が水蒸気酸化により変動することがない。

(8) 格子整合の結晶成長膜で InP基板上に成長可能であることから、長波長帯での発振可能な特性と信頼性の高い面発光レーザが得られる。

(9) 更に、活性層の上下に低反射率の分布型ブラッグ反射鏡構造の多層膜を有するため、電流の均一な注入が可能であり、かつ、光導波特性が更によくなるため効率が良い。

(10) 以上のことから、低閾値電流で高光出力、かつ、単一横モードの高性能な面発光レーザが実現される。

(11) 埋込層がp型AlGaInAsPとn型AlGaInAsPの繰り返し層、または、FeあるいはCrドーブをドーピングした半絶縁AlGaInAsP層である場合は、活性層回りの埋込層部分の抵抗が高く、活性層に電流が効率良く注入される。更に、それらの層の間にAl組成の高いAlGaInAs酸化層を有している場合は、活性層回りの埋込層部分が更に高抵抗となり、活性層に一層効率良く電流が注入される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態例に係る面発光レーザの断面図。

【図2】図1の平面図。

【図3】本発明の第1実施形態例に係る面発光レーザの作製方法の工程図。

【図4】本発明の第1実施形態例に係る面発光レーザの作製方法の工程図。

【図5】本発明の第1実施形態例に係る面発光レーザの作製方法の工程図。

【図6】本発明の第1実施形態例に係る面発光レーザの電流対電圧特性並びに電流対光出力特性を示す図。

【図7】本発明の第2実施形態例に係る面発光レーザの断面図。

【図8】本発明の第2実施形態例に係る面発光レーザの作製方法の工程図。

【図9】本発明の第2実施形態例に係る面発光レーザの作製方法の工程図。

【図10】本発明の第2実施形態例に係る面発光レーザの作製方法の工程図。

【図11】本発明の第3実施形態例に係る面発光レーザの断面図。

【図12】本発明の第3実施形態例に係る面発光レーザの作製方法の工程図。

【図13】本発明の第3実施形態例に係る面発光レーザの作製方法の工程図。

【図14】本発明の第3実施形態例に係る面発光レーザの作製方法の工程図。

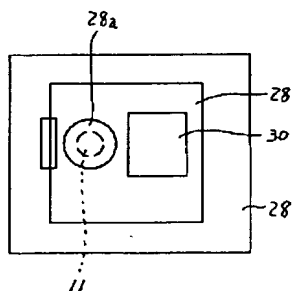
【符号の説明】

- 1 p型InP 基板
- 2 p型InP バッファ層
- 3 第一の半導体層（光学長 $\lambda/4$ のp型 $\text{Ga}_{0.468}\text{In}_{0.532}$ As層）
- 3a 空気層
- 4 第二の半導体層（光学長 $(3/4)\lambda$ のp型InP層）
- 5 下部多層半導体層
- 6 光学長 2λ のp型InP層
- 7 p型の $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}$ As層
- 8 p型の $\text{Al}_m\text{Ga}_n\text{In}_{1-m-n}$ As層
- 9 多層膜
- 10 ノンドープ $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}$ As傾斜層
- 11 光学長 λ の活性層（3QWs）
- 12 スペース層
- 13 n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}$ As層
- 14 n型 $\text{Al}_m\text{Ga}_n\text{In}_{1-m-n}$ As層
- 15 多層膜
- 16 SiO_2 層
- 17 p型InP層
- 17a 埋込層
- 18 n型InP層
- 19 ノンドープAlInAs層
- 20 n型InP層
- 21 p型InP層
- 22 2回目の埋込成長構造
- 23 光学長 2λ のn型InP層
- 24 第一の半導体層（光学長 $\lambda/4$ のn型 $\text{Ga}_{0.468}\text{In}_{0.532}$ As層）
- 24a 空気層
- 25 第二の半導体層（光学長 $(3/4)\lambda$ のn型InP層）
- 26 上部多層半導体層
- 27 SiO_2 層
- 28 保護層（ SiO_2 又は SiN_x ）
- 28a 光出射窓
- 29 埋込層の酸化物層
- 30 n型電極
- 31 p型電極
- 32 n型InP 基板
- 33 n型InP バッファ層
- 34 第一の半導体層（光学長 $\lambda/4$ のn型 $\text{Al}_{0.468}\text{Ga}_{0.008}\text{In}_{0.532}$ As層）
- 34a 酸化物
- 35 第二の半導体層（光学長 $(3/4)\lambda$ のn型InP層）

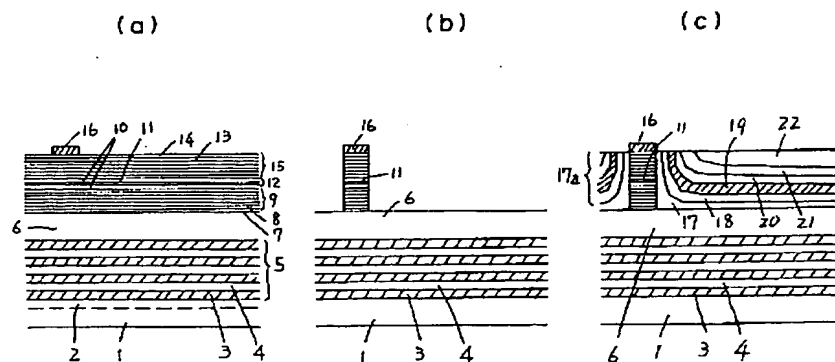
36 下部多層半導体層
 37 光学長2λのn型InP 層
 38 n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_{1-x-y}\text{As}$ 層
 39 n型 $\text{Al}_m\text{Ga}_n\text{In}_{1-m-n}\text{As}$ 層
 40 多層膜
 41 ノンドープ $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}$ 傾斜層
 42 光学長λの活性層 (3 Q W s)
 43 スペーサ層
 44 p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}$ 層
 45 p型 $\text{Al}_m\text{Ga}_n\text{In}_{1-m-n}\text{As}$ 層
 46 多層膜
 47 SiO_2 層
 48 ノンドープInP 層
 48 a 埋込層
 49 FeあるいはCr ノンドープInP 層
 50 ノンドープAlInAs層
 51 FeあるいはCr ノンドープInP 層
 52 ノンドープInP 層
 53 2回目の埋込成長構造
 54 光学長2λのn型InP 層
 55 第一の半導体層 (光学長λ/4のp型 $\text{Al}_{0.460}\text{Ga}_{0.008}\text{In}_{0.532}\text{As}$ 層)
 55 a 酸化物層
 56 第二の半導体層 (光学長 (3/4) λのp型InP 層)
 57 上部多層半導体層
 58 SiO_2 層
 59 保護層 (SiO_2 又は SiN_x)
 59 a 光出射窓
 60 埋込層の酸化物層
 61 p型電極
 62 n型電極
 63 n型GaAs基板
 64 n型GaAsバッファ層
 65 第一の半導体層 (光学長λ/4のn型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層)

65 a 酸化物
 66 第二の半導体層 (光学長 (3/4) λのn型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層)
 67 下部多層半導体層
 68 光学長2λのn型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層
 69 n型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 層
 70 n型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層
 71 多層膜
 72 ノンドープ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 傾斜層
 73 光学長λの活性層 (3 Q W s)
 74 スペーサ層
 75 p型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 層
 76 p型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層
 77 多層膜
 78 SiO_2 層
 79 ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層
 79 a 埋込層
 80 FeあるいはCr ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層
 81 ノンドープ $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層
 82 FeあるいはCr ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層
 83 ノンドープ $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層
 84 2回目の埋込成長構造
 85 光学長2λのn型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層
 86 第一の半導体層 (光学長λ/4のp型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層)
 86 a 酸化物層
 87 第二の半導体層 (光学長 (3/4) λのp型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層)
 88 上部多層半導体層
 89 SiO_2 層
 90 保護層 (SiO_2 又は SiN_x)
 90 a 光出射窓
 91 埋込層の酸化物層
 92 p型電極
 93 n型電極

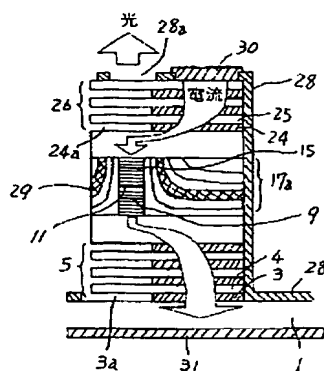
【図2】



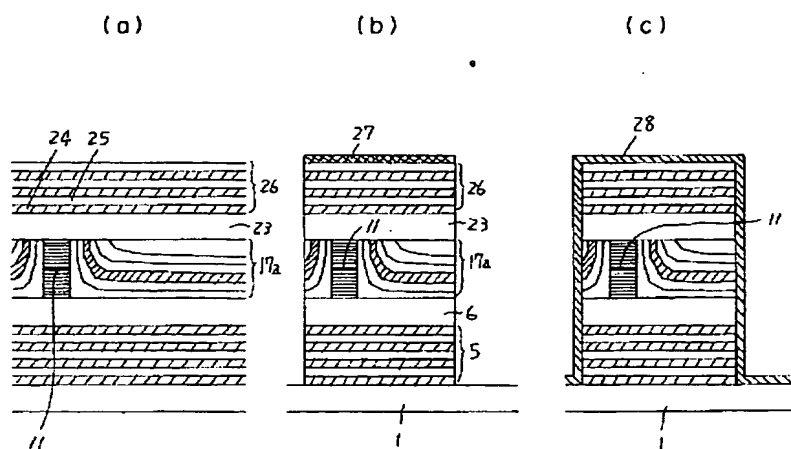
【図3】



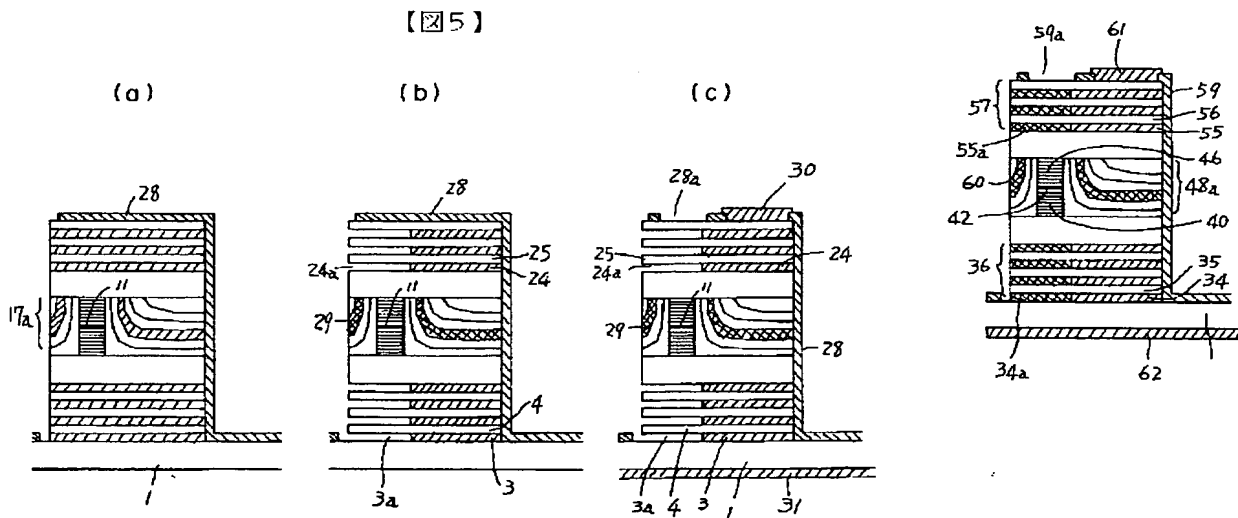
【图1】



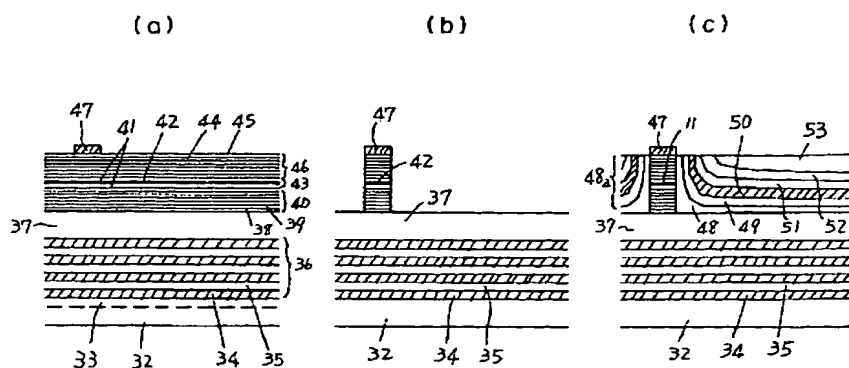
【图4】



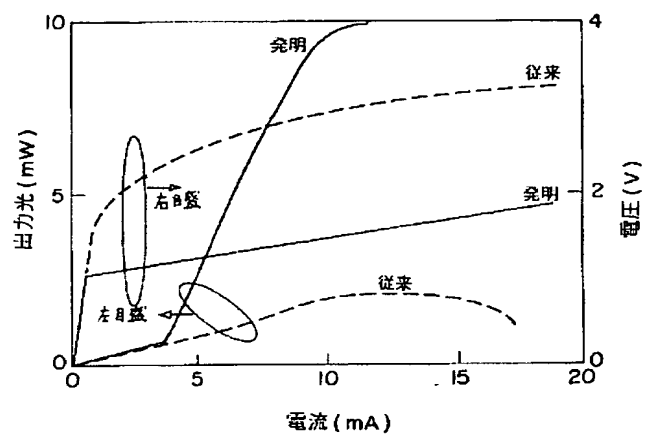
【图7】



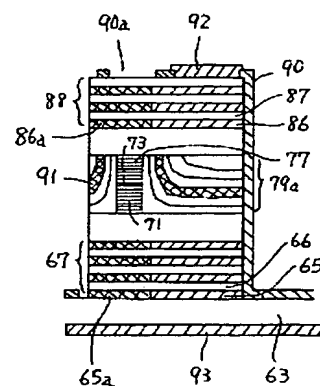
【图8】



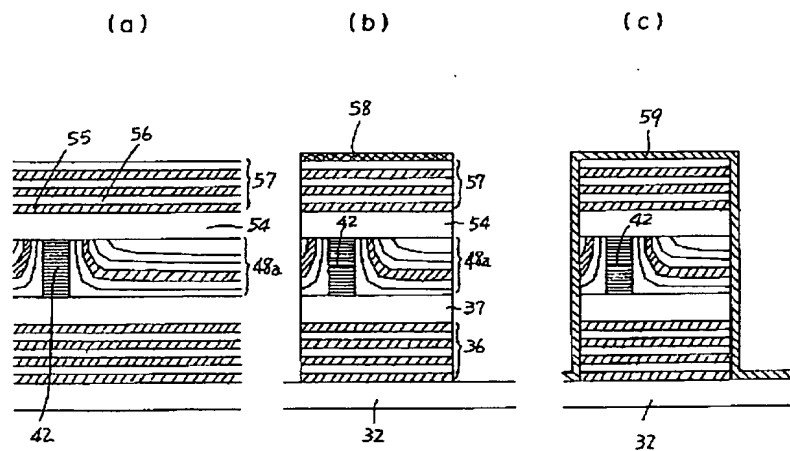
【図6】



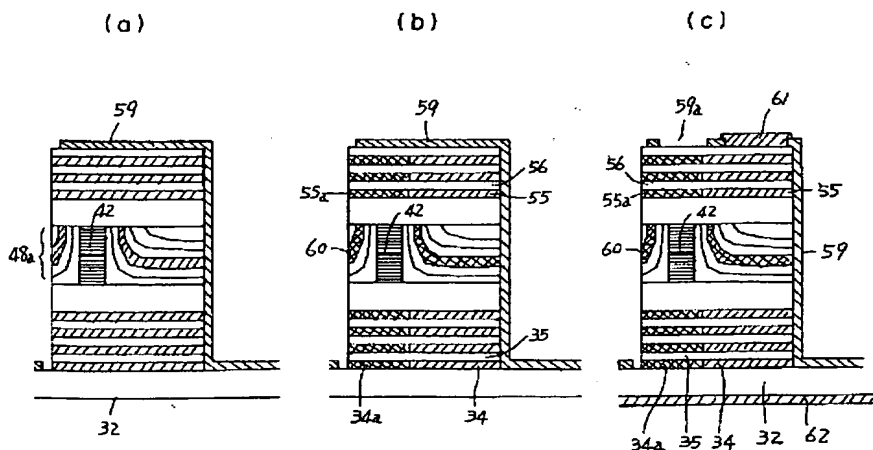
【図11】



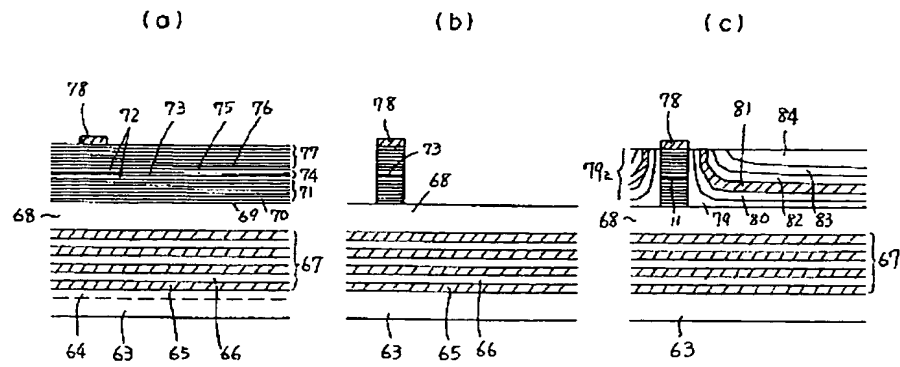
【図9】



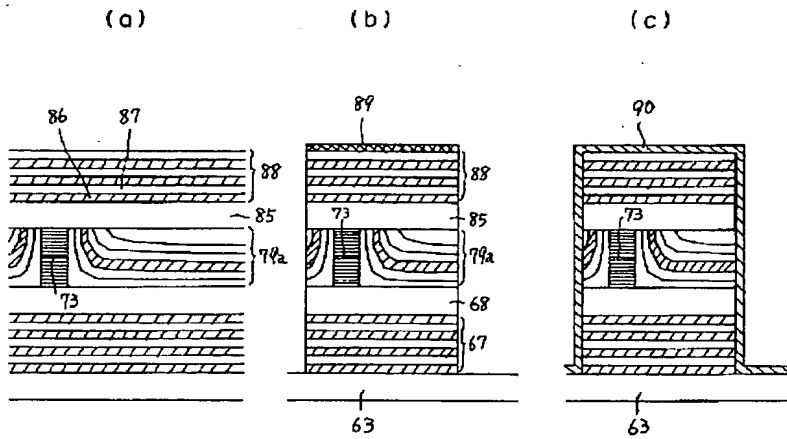
【図10】



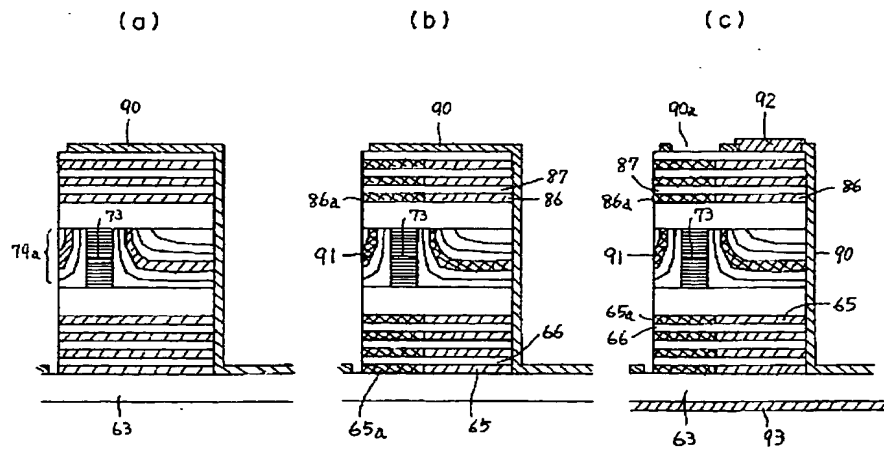
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 植之原 裕行
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 香川 俊明
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5F073 AA12 AA65 AA74 AB02 AB17
CA14 CA15 CB02 EA29

THIS PAGE BLANK (USPTO)